

## HSI モデル整理票

記入日 2007 年 3 月 6 日

票 A には、本 HSI モデルに関する基本情報が記されています。また票 B には、本 HSI モデルにおける各項目の記載の有無が記されています。 の記してある項目がモデルに記載されている項目です。

票 A					
基本情報	評価種名	標準和名：ベッコウトンボ			
		学名： <i>Libellula angelina</i>			
	HSI モデルの 作成者名	静岡大学大学院 理工学研究科 システム工学専攻 前田研究室 阿部茂晴			
	HSI モデル作成者 の連絡先 (自宅 or 会社) 一般公開しても良 い範囲でご記入くだ さい	住所：静岡県浜松市城北 3 丁目 5 - 1 静岡大学 工学部 システム工学科 前田研究室 Tel : 053(478)1202 Fax : 053(478)1202 E-mail : maeda@sys.eng.shizuoka.ac.jp			
票 B					
HSI モデルの 記載内容	評価種に 関する情報	1	評価種の希少性、規制等に関する記載		
		2	評価種の垂直・水平分布に関する記載		
		3	評価種の生活史に関する記載		
		4	評価種のハビタットに関する情報の記載		
	構築された HSI モデルに 関する情報	5	HSI モデルの構築手段 に関する情報の記載	(1)	文献調査
				(2)	フィールド調査
				(3)	専門家へのインタビュー調査
				(4)	サンプルデータによる検証
			6	フィールドにおける各変数の測定方法の記載	
			7	各変数に関する SI モデル(グラフ、文章等)の記載	
		8	HSI 結合式もしくはそれに相当する文章の記載		
		9	HSI モデルの適用範囲(評価種のライフステージ、カバータイプ、地理的範囲、季節、最小ハビタット面積等)の記載		
その他	10	引用文献リストの記載			

# ベッコウトンボの HSI モデル

静岡大学大学院理工学研究科 阿部茂晴

2007 年 02 月 05 日



## 序論

本レポートで構築したベッコウトンボ (*Libellula angelina*) の HSI モデルは、USFWS (米国魚類野生生物局) によって影響評価及び生息地管理のために開発された HEP (Habitat Evaluation Procedure: 生息地評価手続き) に利用するためのものである。

本モデルは既存の情報と報告から開発したもので、ベッコウトンボにとっての HSI (Habitat Suitability Index: 生息適性指数) を不適である 0 から最適である 1 までの間の数値で表現する。本レポートにはベッコウトンボの HSI モデルの開発過程で用いられた仮定、実際にモデルを生息地評価に利用する際のガイドラインを記述した。また付録 A として本モデルの検証レポートを添付している。

なお、本モデルは種の個体群の状態と生息地の環境条件に関係があるという仮定の下で作られている。つまり本モデルはベッコウトンボの産卵環境に議論を絞ったモデルであるが、生息地 (以下ハビタット) の質に対応する産卵数を記述したものではない。

また本モデルの検証で行っている、フィールドデータによる解析は実証として不十分なものである。

本レポートを環境アセスメントや保全、管理などに使用する場合、適宜モデルを修正する必要がある。

# 目次

<b>1</b>	<b>導入</b>	<b>4</b>
1.1	分布	4
1.2	生活史の概要	4
1.3	考察	6
<b>2</b>	<b>ハビタット利用情報</b>	<b>7</b>
2.1	植物	7
2.2	気温・照度	7
2.3	水深	8
2.4	腐植質	8
<b>3</b>	<b>HSIモデル</b>	<b>9</b>
3.1	適用範囲	9
3.2	モデルの概要	9
3.3	各ハビタット変数のSIモデル	10
3.3.1	$V_1$ : 全植物被覆割合	10
3.3.2	$V_2$ : 水面近くの植物	11
3.3.3	$V_3$ : 水深	12
3.4	HSIモデル	12
3.5	モデルの出力の解釈	13
3.6	モデルをフィールドで使用するにあたって	13
<b>A</b>	<b>モデル検証のレポート</b>	<b>15</b>
A.1	開発者によるレビュー	15
A.2	サンプルデータによる解析	15
A.2.1	仮定	15
A.2.2	評価	16
A.2.3	考察	16
A.3	フィールドデータによる解析～桶ヶ谷沼実験池を例として～	16
A.3.1	評価対象地・桶ヶ谷沼実験池について	16
A.3.2	評価	18
A.3.3	考察	19

# 1 導入

ここではベッコウトンボの概要について述べる。

日本はトンボが豊富な国と言われ、古事記でも日本を秋津島（トンボの島）というほど古来よりトンボが身近な国である。そのトンボの中でもベッコウトンボは絶滅の危機に瀕し、大変貴重な種である。

## 1.1 分布

静岡県自然環境調査委員会 [1]などを参考に、ベッコウトンボの分布状況をまとめてみる。本種は国外では朝鮮半島及び中国北部から中部に分布している。国内ではかつては宮城県以南の本州、四国、九州に分布していたが、元々生息地は局限されていた。静岡県内では現在磐田市以外では確認できず、国内における東限の生息地となっている。

また本種は1994年には「種の保存法」によって国内希少動物種に指定され採集が禁止されているほか、環境省の定めるレッドリストでは絶滅危惧Ⅰ類（CR+EN）に分類されている。

## 1.2 生活史の概要

ライフステージ ベッコウトンボの成虫はヨシやマコモなどの抽水植物が適度に生えた静水域で配偶行動をし、打水産卵<sup>1</sup>する。その間オスは産卵警護を行う。近藤ら [2]によると、卵期は10日～16日程度で幼虫期間は300日あまりであり、多くの個体は12齢<sup>2</sup>で終齢幼虫になるようである。また12月にはほとんどの個体が終齢に達しているようである。なお本種は福井 [3]の飼育実験によって1年1世代型<sup>3</sup>であることがわかっている。

春になるとベッコウトンボは羽化を始める。本種の羽化は通常朝方に行われる。体長はおよそ4cm程度で中型のトンボである。細田 [4]によると羽化の位置は水面からの高さが平均21cmであり、桶ヶ谷沼においてはマコモの枯れ茎につかまって羽化している割合が50%を超えているという。また羽化の時期については羽化殻調査をした福井 [5]によると、磐田市桶ヶ谷沼では4月上旬～5月中旬で羽化が確認され、最も羽化が多かった時期は1993年には5月上旬、1994年には4月中旬であったようだ。

一般にトンボは羽化後しばらくは生殖能力を持たないことが知られている。この期間を未成熟期というが、福井 [6]はオスの場合のこの期間がおよそ10日程度であること、未成熟個体の大部分が羽化水域近くの開放的な草地に移動することを報告している。

成熟期になると本種は交尾・産卵を行う。倉品 [7]によるとベッコウトンボの移動距離はおよそ2km以内であり、その範囲内ではかなりの確率で産卵の場としてヨシやヒメガマの生育する池を選択することが報告されている。また青木 [8]はメス成虫の生息地選択についての偏向性があるようだと報告している。

産卵環境の全体像について岡 [9]は次のように述べている。「灰茶褐色系の抽水植物が密でも疎でもない空間と水面を狙い、そこは水底に泥が堆積し植物の根などが複雑に絡み合っていることを、自分の眼で確かめて産卵するので、水の透明度と水深も決め手となります。」

<sup>1</sup>腹部を水面につけて産卵する方法。

<sup>2</sup>脱皮の回数で齢を数える。卵から孵化し一度目の脱皮をしたとき1齢である。もうそれ以上脱皮をしない状態を終齢という。

<sup>3</sup>産卵した翌年に羽化するタイプのこと。一化性とも言う。

また福永 [10] は多変量統計解析手法の数量化 Ⅰ類およびⅡ類を使って、ベッコウトンボの生息環境を解析している。それによるとベッコウトンボの生息環境には池沼の広さが 2000m<sup>2</sup> 以上であること、水草の繁茂が池全体にはびこっていること、ある程度の透明性があること、水草間に開水面があること、水草はガマであること、池沼の深さが 50cm 未満であることという条件が必要であるという。

成長・食物 近藤ら [2] によると、本種幼虫の体長は卵から孵化し一度目の脱皮をした 1 齢幼虫の状態では体長 1mm 程度であり、終齢幼虫である 12 齢では体長 19mm 程度だという。この報告では飼育環境で観察を行っているが、その際幼虫に与えられた餌はブライシユリンプ幼生、イトミミズ、アカムシなどと報告されている。

成虫の体長については、静岡県自然環境調査委員会 [1] によればオスメスともに体長 42～46mm になるようである。また成虫の体色については、羽化後間もない頃は薄茶色で成熟すると黒くなっていくことが知られている。細田 [11] によると成虫のエサとしてガガンボやハエ、カ、ガなどの小昆虫があるそうである。

死亡 福井 [6] では最長寿命として羽化後 44 日を確認し、平均寿命は 10 日未満の可能性もあると考察している。また青木 [12] では最長寿命として羽化後 48 日を確認し、標識再捕法に基づくデータによる確定生存日数の平均値として 13.4 日を報告している。

近年のベッコウトンボ個体数減少の一因としてアメリカザリガニの侵入・捕食の影響が指摘されることがあるが、具体的な捕食圧に関する資料を見つけることは出来なかった。ちなみに日本環境動物環境学会 [13] ではトンボの天敵が紹介されており、それによると卵期には寄生蜂やアリ、魚類が、幼虫期にはミズカマキリ、トンボ幼虫、ガムシ幼虫などの捕食性水生昆虫、アメリカザリガニ、コイやブラックバスなどの魚類、サギなどの水辺の鳥類が、そして成虫期にはキセキレイ、シジウウカラ、ツバメなどの鳥類、カエル、ムシヒキアブ、大型のトンボ、カマキリ、クモ類が主な天敵として挙げられている。

移動 福井 [3] によると、成虫の配偶行動が見られる場所は羽化が見られる場所とよく一致し、本種幼虫は産卵された場所からあまり移動しないと考察されている。この点については多くの報告がこれを支持する結果を示している。しかし、一部の個体が羽化水域と異なる水域で産卵をすることがあるという報告も多い。

一方羽化後の移動について三時ら [14] は未成熟個体の飛散範囲は 200～500m の範囲であることなどを報告している。倉品 [7] はベッコウトンボの移動距離が羽化水域から 2km 程度であると報告している。また、福井 [6] は 17km の移動を確認した報告をしている。

競争種・ヨツボシトンボ ベッコウトンボの競争種としてヨツボシトンボが挙げられることが多い。福井 [3] によるとこの両種は、少しのずれがありながらも羽化の時期も場所も重複しており、形態的な類似のほかに配偶行動も似ており、種間雑種個体が多数記録されているようである。さらに飼育環境では両種を同一環境で飼育した場合、明らかに生育しにくくなる傾向が見られたとも報告されている。

そのほか、福井 [15] では、飼育環境においてクロスジギンヤンマが同一環境内に侵入するとベッコウトンボの生育数に大きな影響が出ることが報告されている。

生息環境 ここでは主に本種の生息環境について、水質の面での情報を記載する。福井 [3] によると、本種の代表的な産地の 1 つである桶ヶ谷沼の水質は COD が 7.5 ~ 15.4ppm、BOD は 3.6 ~ 9.8ppm、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> は 0.80 ~ 0.95ppm、そして pH は 5.5 ~ 6.0 程度であり富栄養型でやや酸性の水質と報告されている。この水質は腐植質が起因しているものとも考察されている。その他、本種生息が確認されている鹿児島県薩摩半島南部にあるひょうたん池の夏季の水質や底質について、古谷ら [16] によると COD が 8.8 ~ 16mg/l、DO は 3.7 ~ 8.5mg/l、pH は 7.1 ~ 7.2、底質の強熱減量が 4.1 %、T-N が 8400mg/kg と報告されている。

### 1.3 考察

以上にまとめたベッコウトンボの生活史から導かれた、HSI モデル構築に重要な意味を持つ 2 つの特徴を以下に挙げる。

1. 本種はライフステージごとに生息場所を変えているので、HSI モデルはライフステージに対応したモデルとする必要がある。
2. 本種は産卵環境についての環境選択性が強く、また産卵環境がヤゴ期の生息環境にほぼ等しいと考えられることから、本種生息地の条件に占める産卵環境のウエイトは非常に大きいと考えられる。

本研究では以上 2 点を踏まえ、ライフステージを成虫 (成熟期) に絞り、また産卵環境に特化した HSI モデル構築を行うことにした。

## 2 ハビタット利用情報

ここでは1.2節の内容を、成虫(成熟期)における産卵環境についてのハビタット利用情報という観点からまとめている。

ベッコウトンボの産卵環境のカバータイプ<sup>4</sup>については、日本環境動物昆虫学会 [13] と福井 [3] を参考にすると、水生植物がある止水域の中でも背丈の高い抽水植物のアシ、ガマ、マコモ、フトイなどが繁茂する腐植栄養型池沼と考えられる。

以下ではベッコウトンボの産卵環境に関係すると思われる植物、気温・照度、水深、腐植質という4つの要因について新たにまとめなおす。

### 2.1 植物

ここでは収集した資料の中で記述のあった、植物に関係する3つの項目を挙げる。これらの環境要因は産卵時やヤゴ期の隠れ家や餌場、羽化の足場などに利用されていると思われる。

**抽水植物密度** 福井 [3] によると、成虫の配偶行動がよく見られるところはアシやマコモなどの抽水植物が適度に繁茂しているという。この適度とは、過密でも過疎でもなく本種の成虫がその間を飛翔できる程度にまばらに生育し水面が少し見える状態ということで、ある日に羽化が集中する場所を調べたところでは水面上に突き出た植物の茎の密度が57~182本/ $m^2$ (平均97本/ $m^2$ ,n=10)であったという。

**植物量** 静岡県立磐田南高等学校生物部(以下、南高生物部と呼ぶ)[17]の実験によると、実験施設である大きさ50cm×80cmのコンテナ内の植物量を少(1/3以下)・中(1/3~2/3)・多(2/3以上)で分類して産卵数を観測したとき、植物量が多いほど産卵数が多かったことと、「少」の所は「多」の所の半分程度の産卵数であったという知見が得られている。

**水面近くの植物** 南高生物部 [18] の実験によると、水面近くに植物が存在すると産卵数が1.5倍以上になったという結果が得られている。この場合の水面近くの植物とはタデや藻(オオカナダモ、クロモ)といった、水面から少ししか出ていなかったり水面下の見えるところにあるような植物のことである。この場合、タデは水底に根を張っていて水面付近くらいの高さまでしか伸びていなかったようである。

### 2.2 気温・照度

松木 [19] によると、ベッコウトンボの活動には気温と照度の条件が必要で、晴れても気温が17前後の場合は活動が見られないという。

---

<sup>4</sup>カバータイプ(cover type)とは植生、水、人工物など地表の均一な被覆状態を示すものである[?]. 例えば森林、砂浜、アマモ場(水中)などが挙げられる。



### 2.3 水深

福井 [3] によると、本種幼虫の生息場所の水深はせいぜい 10～50cm 程度でごく浅いところが多く、堆積した腐植質がほぼ水面までおおっている場所も多いという。仮に幼虫の生息場所と羽化の場所、そして産卵される場所がほぼ一致すると仮定すると、この水深も産卵条件になると考えられる。

また補助的な情報として、山口県立博物館 [20] によるとヤゴが休眠に入っている冬季であれば、水位低下はヤゴの生息及び羽化に影響を与えないという。

### 2.4 腐植質

福井 [3] によると、本種幼虫の生息場所は水深に加えて柔らかい腐植質が 1m 以上堆積しているところが多かったとある。

### 3 HSIモデル

ここでは第2節を踏まえ、ベッコウトンボの HSI モデル構築・検証を行う。

#### 3.1 適用範囲

**地理的範囲** 本モデルは基本的に静岡県磐田市桶ヶ谷沼及びその近くの池沼に適用可能である（桶ヶ谷沼についての詳細は 4.1.3 目を参照のこと）。なお、本モデルは桶ヶ谷沼のベッコウトンボに関する知見に基づいて構築されているため、他の生息地で適用する場合にはモデル全体を十分に再検討すべきである。

また本モデルは小規模の池沼を評価するのに向いており、局所的な水域を評価するために構築してある。南高生物部 [18] の報告では産卵誘致が可能な水域の最小面積はおよそ  $0.8\text{m}^2$  であるこということ、一方福永 [10] は生息地の面積は  $2000\text{m}^2$  以上と述べていることも参考にしてほしい。

**ライフステージ** 本モデルはベッコウトンボの成虫成熟期の産卵に関する HSI モデルである。

**季節** 本モデルの適用時期はベッコウトンボの産卵シーズンすなわち 4月上旬～6月上旬の間とする。

**カバータイプ** 本モデルは長期の湧水の無い水生植物のある静水域の評価に適用できる。評価するためのデータは全て水域を対象として測定される。

**検証レベル** 本モデルは作成者のレビュー、サンプルデータによる解析、フィールドデータによるテストを行ってある。詳細は 4.1 項に記述する。

#### 3.2 モデルの概要

このモデルはベッコウトンボの成虫成熟期に適用し、また産卵環境についてまとめた以下の3つのハビタット変数に基づいている。

- $V_1$  : 全植物被覆割合
- $V_2$  : 水面近くの植物
- $V_3$  : 水深

このモデルは、評価対象水域がベッコウトンボの産卵環境としてどれだけの適性を持っているのかを指数化して数値表現するものであり、直接に発生数を予想することを目的としたモデルではない。

本モデルに採用されたハビタット変数とその SI モデルについては以下で簡単に説明する。なお 3.2 項で取り上げた植物量はここでは全植物被覆割合という指標で代替を行っている。また抽水植物密度と気温・照度、腐植質については 3.2 項で産卵必須条件として取り上げながらハビタット変数として採用しなかった。これは抽水植物密度については測定に多大な労力を要すること、全植物被覆割合で代替可能であると考えられたこと、そしてデータが不足していたことが理由である。気温・照度については、現実に評価・モニタリングの実行を想定したとき、事業者が対策を行にくい要素であるためである。腐植質についてはデータ不足が理由である。

### 3.3 各ハビタット変数の SI モデル

ここでは各ハビタット変数について設定した SI モデルのグラフとその根拠となったデータの出典と仮定を述べる。以下に本モデルの変数とベッコウトンボのハビタットとの関係を表したツリーダイアグラムを示す。

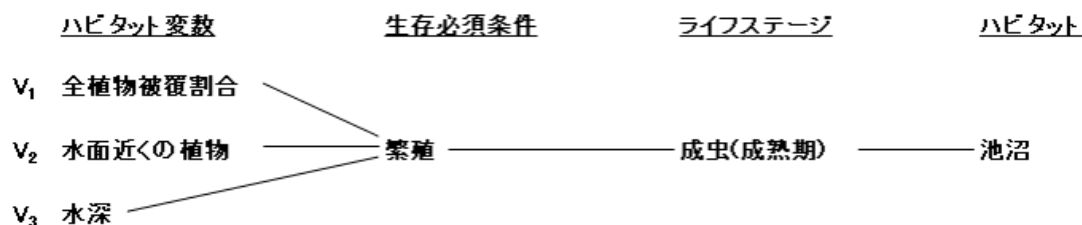


図 3.1) ツリーダイアグラム

また、以下に各変数の SI モデルの根拠となったデータの出典と仮定を表にして示す。

表 3.1) SI モデルの根拠となるデータの出典と仮定

変数	出典	仮定
全て	岡 [9]	ベッコウトンボは産卵環境を主に視覚的に選ぶ。
V <sub>1</sub>	南高生物部 [17]	水域の植物量が多ければ多いほど産卵数も増える。 植物量は植物被覆割合に代替できる。
V <sub>2</sub>	南高生物部 [18]	水面近くに植物があると産卵数が増える。
V <sub>3</sub>	福井 [3]	水深はベッコウトンボの産卵数に影響を与える。

#### 3.3.1 V<sub>1</sub>: 全植物被覆割合

この要素はベッコウトンボに隠れ家や羽化の足場を提供するものと思われる。この変数は 2.2 項で植物量として取り上げた条件を代替して採用したものである。この場合の全植物とは抽水植物や浮葉植物、沈水植物など水面の真上から見える全ての植物を指す。また本モデルにおける被覆割合とは、評価水域を真上から見た場合の評価水域に占める植物が覆い隠している面積の割合のことである。

南高生物部 [17] の報告では、植物の量を少 (1/3 以下)・中 (1/3~2/3)・多 (2/3 以上) で観測したとき、植物の量が多いほど産卵数が多かったこと、「少」の所は「多」の所の半分程度の産卵数であったという知見が得られている。実験の報告からこの植物量は植物被覆割合に代替してもほぼ問題ないと考えられる。詳しくは引用元を参照されたい。またこの指標は精度の都合上 5% の精度で測定するのが適当であると考えている。SI モデルもこれに従って作成してある。

以上からまず植物量が「多」に分類される 65~100% (およそ 2/3 以上) では最適である SI=1.0 を割り当てる。また被覆割合 5% (すなわち「少」の範囲の下限値) で SI 値は「多」の半分の適性である SI=0.50 を割り当てることにする。そして植物が少しでもあると言える 5% から 65% までの区間では SI が単調増加するものとし、直線的に結ぶ。また被覆率 0% では最小値 SI=0 とし、0%~5% の区間は直線的に結んだ。以下図 3.2 に全植物被覆割合の SI モデルを示す。またこのモデルによって求めた SI を SI<sub>1</sub> とする。

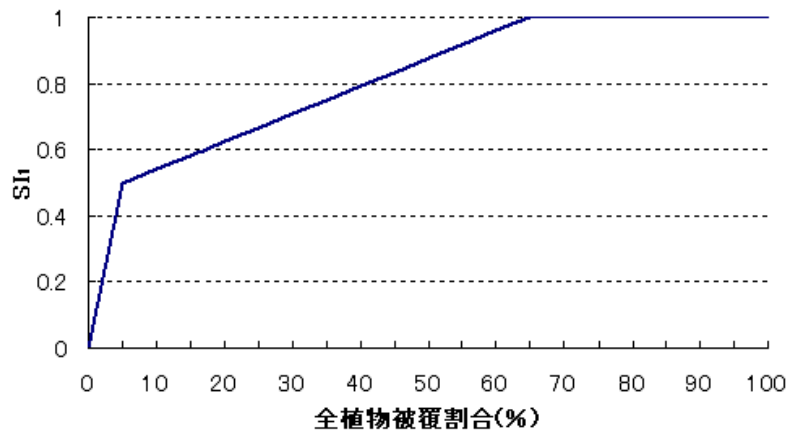


図 3.2)  $V_1$ (全植物被覆割合) の SI モデル

### 3.3.2 $V_2$ : 水面近くの植物

この変数は産卵の後孵化したヤゴの隠れ家や食物供給に影響する要素ではないかと思われる。もしかしたらこの要素は、抽水植物の間に適当な開放水面が確保されていることを表していたり、それによってベッコウトンボの産卵しやすい環境を提供しているのかもしれない。

水面近くの植物とは具体的には藻やタデなどのことである。この変数は水面近くの植物があるかないかの二値に対して適性を割り当てた。残念ながらこの変数に関してのデータは少なく、量と適性の関係については詳しくわかっていない。

本モデルではただ水域に水面近くの植物があれば「あり」と判定するのではなく、その水面近くの植物の上方に抽水植物などが覆いかぶさっていない場合のみを「あり」と判定することにする（つまりベッコウトンボが上空から水面近くの植物を視認できる状態にあるということ）。

この変数は南高生物部 [18] の、水面近くに植物が存在すると産卵数が 1.5 倍以上になったという報告をもとにしている。SI モデルは水面近くの植物がある場合  $SI=1.0$ 、ない場合  $SI=0.67$  を割り当てた。以下図 3.3 に水面近くの植物の SI モデルを示す。またこのモデルによって求めた SI を  $SI_2$  とする。

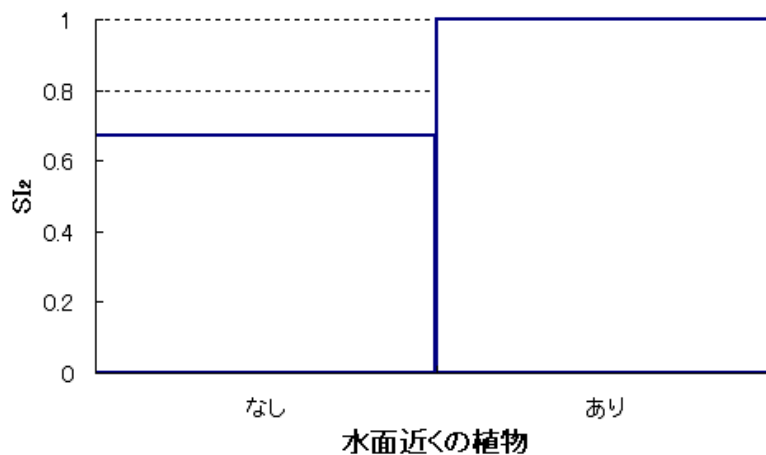


図 3.3)  $V_2$ (水面近くの植物) の SI モデル

### 3.3.3 $V_3$ : 水深

この要素は間接的に水温や食物などの条件に関係しているのかもしれない。

この変数は福井 [3] の「本種の幼虫は産卵された場所からあまり移動しない」という考察を前提に、同じく「幼虫の生息場所の水深は、せいぜい 10～50cm 程度」という報告をもとにした。

SI モデルは、水がない水深 0cm と深すぎると思われた水深 100cm のとき  $SI=0$ 、水深 10～50cm のとき  $SI=1$  を割り当て、残りの部分を直線的に結んだ。以下図 3.4 に水深の SI モデルを示す。またこのモデルによって求めた SI を  $SI_3$  とする。

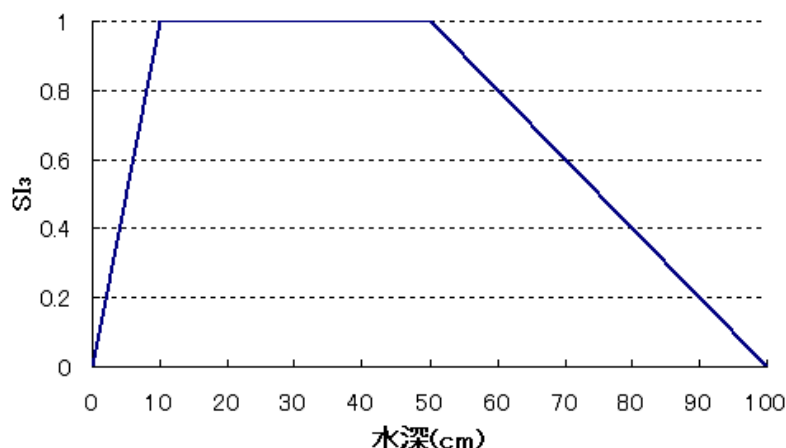


図 3.4)  $V_3$ (水深) の SI モデル

## 3.4 HSI モデル

最終的に HSI 値を算出するためには、八ピタット変数を結合する計算式である HSI モデルを構築する必要がある。ここでは HSI モデルの提案をする。

選定された八ピタット変数の  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  の適性が 1 つでも欠けた場合、その八ピタットにおけるベッコウトンボの産卵環境としての適性は失われるため、3 つの変数の積をとり、 $1/3$  乗することでモデルの結合をすることにした。以下にその結合式を示す。しかし各変数の係数についてはそれを計算するだけの利用可能なデータがないので、考慮していない。

$$HSI = (SI_1 \times SI_2 \times SI_3)^{1/3}$$

ところで、水域の植物の量についてはベッコウトンボにとって適当な量があると言われており、抽水植物があまり密になりすぎるとは適性が下がるようにしなければならないと考えた。また水面近くに植物が存在することは、その場所に適当な開放水面が存在しているという可能性が高いとも考えられる。そこで評価水域には水面近くの植物も存在しなければ最大の HSI 値は得られないようにしてある。この操作によって本モデルでは間接的に本種の産卵に必要なと思われる適当な開放水面を表現している。

### 3.5 モデルの出力の解釈

以上のモデルを使って求めたベッコウトンボの HSI 値は必ずしも対象ハビタットの個体数を表現するものではない。またベッコウトンボの生息地は種の保存法により守られているため、本モデルを利用して得られた HSI 値は継続的に算出し比較する手段、すなわちハビタットの保全、維持、管理の手段として効果を発揮すると期待している。

### 3.6 モデルをフィールドで使用するにあたって

ここではモデルを実際に利用するにあたり、具体的にどのようにハビタット情報を測定すればいいのか解説する。

$V_1$ ：全植物被覆割合 単位評価区画の水域を鳥瞰して、区画面積に占める水面を覆い隠している植物の面積の割合を測定する。この測定項目は目で見て値を測定するという性質上、測定者によって個人差が出やすいと予想される。そのためその個人差を少しでも減らせるような測定法を提案する。

その測定法とは、単位評価区画をさらに面積ベースで 20 に等分割して、それを目安にして被覆割合を測定する方法である。これを行うことで変数の測定単位である 5% の面積を具体的にイメージすることができる。例えば 300cm×300cm の方形区画の箇所で測定する場合、その 5% の面積となる 75cm×60cm の格子で測定区画を 20 に等分割する。これを目安に植物の影の面積は何%程度になるか 5% 単位で測定する。

具体的に以下に示す図 3.5、図 3.6 を例に説明する。

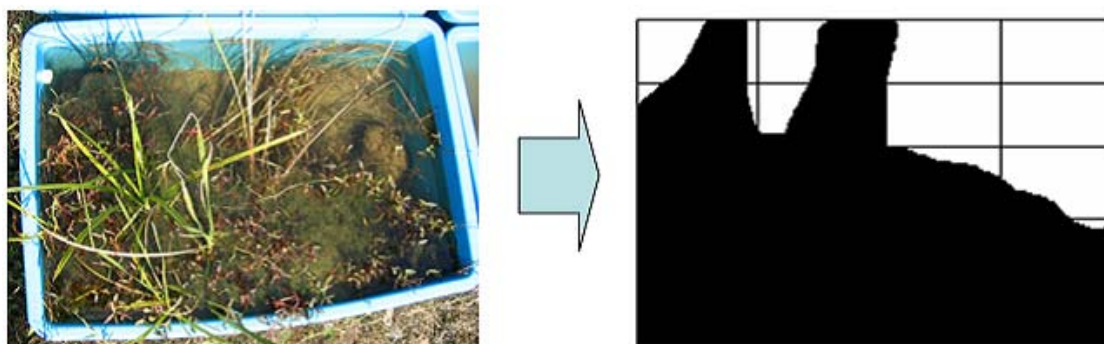


図 3.5) 全植物被覆割合の測定例 1 ( $V_1=70\%$ )

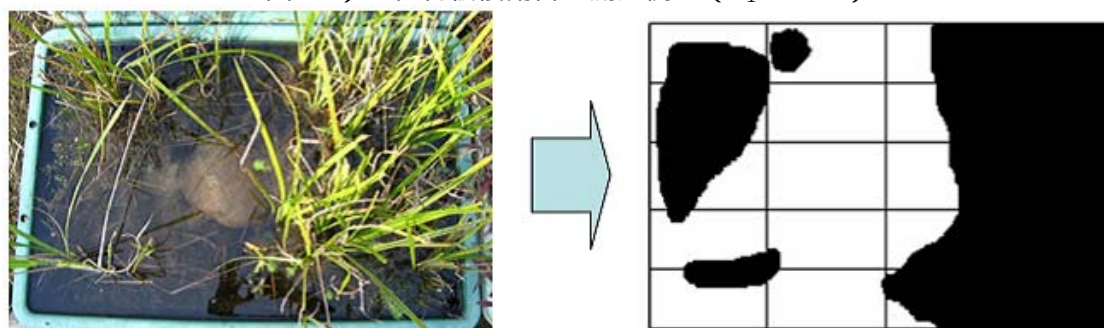


図 3.6) 全植物被覆割合の測定例 2 ( $V_1=50\%$ )

図 3.5 と図 3.6 の左側では実際の単位評価区画を、そして右側では直上から植物の影を水面に投影して黒で塗りつぶしたものを示している。図には不鮮明な部分もあるが、水面近くの植物も影として

カウントされている。図中の格子線は20に等分割するための線である。単位評価区画の5%の面積が大体どのくらいか考えて格子を想像した上で、植物の影を水面に投影したときその面積が評価単位に占める割合を測定値とする。ちなみに測定値は図3.5では70%、図3.6では50%である。

またこの測定の精度を5%単位としているのは、10%単位では精度が粗くなり、逆に5%以下にすると細かすぎて測定が非常に困難になると思われたからである。

ところでこの測定法は目で見て測定するという性質上、評価区画の広さに限界があることは想像に難くない。これは評価区画と同じ高さに立って測定すると、遠くの領域は「上方から見ている」とは言えない角度で見てしまうことに起因する。そのため、評価区画を鳥瞰できるなら別として、この測定方法では広い池沼を評価することは難しいと言え、最終的に本モデルは比較的小規模の池沼を評価するものであるということになる。

$V_2$  : 水面近くの植物 評価区画内の上方から見て、水面近くの植物の有無を観察する。ただしこの変数は抽水植物の適度な隙間も表現しているため、例え水面近くの植物が存在していたとしてもその上に抽水植物などが影を落とすなどして遮られていた場合(上方から見えない場合)は「あり」と判定しない。つまり、上方から水面近くの植物を視認できる状態でなければ「あり」とは判定しない。

$V_3$  : 水深 評価区画ごとに任意の5点で水深を測定し、その平均値を評価区画の水深とする。水の底が見える場合なら水の部分だけを測るのが望ましい。

測定の頻度と時期について 本モデルで測定すべき環境データは、短期で変動するものもあるため週に1度程度の割合で測定することが望まれる。また測定はベッコウトンボの産卵シーズンのみの測定で問題ない。

## A モデル検証のレポート

### A.1 開発者によるレビュー

本モデルを用いて評価する際、最も注意すべき点は  $V_2$  への配慮である。この変数は二値の変数「ある / なし」のみで SI 値を決める。空間が考慮されていない変数であるため、単位評価区画の面積が大きいと変数の存在意義が非常に薄くなってしまいう性質を持っている。例えば単位評価区画を  $100\text{m}^2$  の水域としてしまうと、ほんのわずかでも水面近くの植物があれば  $SI_2$  は 1.0 を出力してしまい、この変数の持つ意味が薄れてしまう。そのため、評価する際にはできるだけ  $2\text{m} \times 3\text{m}$  のように小さく評価水域を区切って評価・測定すべきである。この格子の大きさの根拠は南高生物部 [18] にあった、 $2\text{m} \times 3.2\text{m}$  以上が効果的な規模という報告をもとにしている。また水面近くの植物の存在と産卵数については情報が少なく、特に継続的な検証が必要であると思われる。

本モデルの基礎となったデータはほんのわずかな量であり、科学的な根拠は薄いかもしれない。その意味で主観的、感覚的なモデルであると言われても反論が難しい。もし豊富なデータが得られたのなら、統計的な処理を用いて変数の再選定や SI モデル、HSI モデルの再構築をすることが望まれる。また本モデルを直接改良できるようなデータが手元にある場合は、それを反映させて積極的に改良してから利用することが望まれる。そのようなデータは例えば、 $V_2$  の SI モデルに水面近くの植物の量と産卵数の関係を反映させたりできるデータや、HSI モデルでそれぞれの変数に重み付けができるようなデータである。

また本モデルは成虫の成熟期における産卵環境のみを扱ったモデルである。そのため、残念ながら本モデルだけでベッコウトンボの生息環境を評価しきれるとは言えない。今後は例えばヤゴ期における隠れ家条件や、成虫未熟期における枯れ草地の選好についても考慮したモデルの開発が望まれる。

### A.2 サンプルデータによる解析

ここでは架空のデータを用いてモデルの出力を検証してみる。

#### A.2.1 仮定

以下のような仮定の下に測定をするということにする。

評価対象は、あるベッコウトンボ産地にごく近くにある小規模な池である。その水域は上空から見て上底  $12\text{m}$ 、下底  $6\text{m}$ 、高さ  $3\text{m}$  と言えるような台形に近似できる大きさと形状であったとする。また調査をしやすくするため及びモデルの精度を保持するため、この水域を便宜的に 4 つの区画に区切ることにする。今回の場合、以下の図 A.1 のような区切り方にし評価単位ごとにそれぞれ A ~ D の名前をつけた。



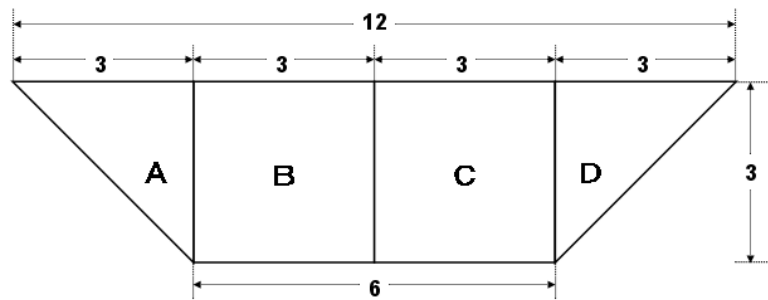


図 A.1) 評価対象水域を鳥瞰して台形に近似した図 ( 長さの単位は m )

### A.2.2 評価

池の調査から得た環境情報から SI、HSI、そして HU (Habitat Unit) を算出した。「 $HU=HSI \times \text{面積}$ 」であり、生息地の質と空間を数値化した指標であると言える。また今回の評価で時間は考慮しない。

表 A.1) SI、HSI の計算結果

	$V_1$ [%]	$V_2$	$V_3$ [cm]	$SI_1$	$SI_2$	$SI_3$	HSI	面積[m <sup>2</sup> ]	HU
水域A	95	なし	30	1.00	0.67	1.00	0.88	4.50	3.94
水域B	80	あり	110	1.00	1.00	0.00	0.00	9.00	0.00
水域C	60	あり	60	0.96	1.00	0.80	0.92	9.00	8.24
水域D	40	あり	50	0.79	1.00	1.00	0.93	4.50	4.16

### A.2.3 考察

前述の計算結果から分かることを列挙してみる。まず水域Bに注目すると、HSI と HU がともに 0 となっている。これは  $V_3$  の SI が 0 であることに起因しており、HSI モデルの 3 つの変数のどれか 1 つでも欠けたらその生息地の質は 0 となるという仮定を反映した結果といえる。

また水域CとDの HSI と HU に注目すると、Dの方が HSI が大きいのに HU ではCの方が大きいことに気づく。これは HU という数値が HSI と面積の積ということに起因しており、生息地の質と量の両方を備えなければ高い HU は獲得できないという意味を持つ。

ここではモデル開発上の仮定や意図を外れた出力は特に見られなかった。

## A.3 フィールドデータによる解析～桶ヶ谷沼実験池を例として～

ここでは実際のフィールドデータを用いて評価を行う。

### A.3.1 評価対象地・桶ヶ谷沼実験池について

ベッコウトンボが全国で減少傾向にある中、全国唯一の安定多産地とも言われているのが静岡県磐田市の桶ヶ谷沼である [21]。面積は 7.43ha、周囲が 1.7km、平均水深が約 0.6 m の比較的小さな沼だが、トンボが 67 種、野鳥が 156 種、植物が 650 種と豊富な自然を誇っている [22]。このような桶ヶ谷沼を守るため、野路会や桶ヶ谷沼を考える会という民間組織や南高生物部などが研究活動や

ナショナルトラスト運動などを通して沼の環境保全運動を行っている。そして1989年に桶ヶ谷沼は静岡県に用地買収され、1991年に県の自然環境保全地域に指定されている。

今回評価対象とした実験池は桶ヶ谷沼の北約100mに位置しており、桶ヶ谷沼を考える会と静岡県によってトンボ類の基礎研究の場として1992年に造成された。池は全部で7つ存在しており、どの池も小規模な池である。また2006年に初めて第7実験池にてベッコウトンボの発生が確認された。以下の図4.2に桶ヶ谷沼と実験池の概略図を示す。



図 A.2) 磐田市桶ヶ谷沼と実験池の位置関係

今回評価の対象とするのは第1および第7実験池である。この2つの実験池は他の5つと違って独立しており、また環境調査実施時には既にザリガニ対策などの保全対策が施されていた。第4実験池も2006年春に環境改善対策が実施されたが残念ながら環境調査を行っていない。参考のため2006年5月22日の第1および第7実験池の様子を、以下図A.3、図A.4として示す。



図 A.3) 2006年5月22日の第1実験池の様子



図 A.4) 2006 年 5 月 22 日の第 7 実験池の様子

評価対象となる池を鳥瞰したとき、それぞれがひし形、三角形に近似できるような形状をしており、以下の図 A.5 ように水域を区切り名前をつけることにした。

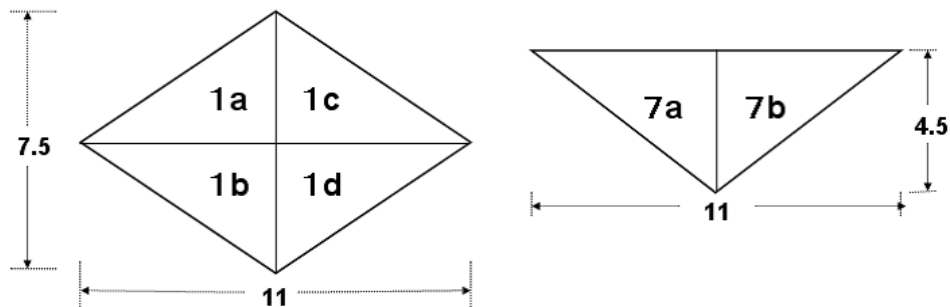


図 A.5) 評価対象水域を近似した鳥瞰図。左が第 1 実験池、右が第 7 実験池。(長さの単位は m)

### A.3.2 評価

それぞれの池を調査して得た環境情報から SI、HSI、そして HU (Habitat Unit) を算出した。なおこの調査は 2006 年 5 月 22 日に行った。

表 A.2) SI、HSI の計算結果

	V <sub>1</sub> [%]	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub> [cm]	SI <sub>1</sub>	SI <sub>2</sub>	SI <sub>3</sub>	HSI	面積[m <sup>2</sup> ]	HU	THU	
第1実験池	1a	5	あり	37	0.50	1.00	1.00	0.79	10.31	8.19	33.18
	1b	5	あり	34	0.50	1.00	1.00	0.79	10.31	8.19	
	1c	10	あり	46	0.54	1.00	1.00	0.82	10.31	8.41	
	1d	10	あり	37	0.54	1.00	1.00	0.82	10.31	8.41	
第7実験池	7a	30	あり	28	0.71	1.00	1.00	0.89	12.38	11.03	22.68
	7b	45	あり	44	0.83	1.00	1.00	0.94	12.38	11.65	

また磐田南高校生物部は 2006 年 5 月 4 日から 6 日までの 3 日間の午前中、実験池へのベッコウトンガ飛来個体数および産卵個体数をモニタリングした。そのデータから第 1、第 2、第 4 及び第 7 実験池への合計値を以下の表 A.3 に示す。

表 A.3) 2006 年 5 月 4 日 ~ 6 日の 3 日間のベッコウトンボ飛来個体数及び産卵個体数

	第1実験池	第2実験池	第4実験池	第7実験池
飛来個体数	67	116	214	69
産卵個体数	4	1	43	7

### A.3.3 考察

まず表 A.2 に注目して、生息地の質を意味する HSI を見てみる。するとどの水域においても  $V_1$  の SI 値がほとんどその水域の HSI 値を決めていることが分かる。このことから、ベッコウトンボの産卵環境を最も制限しているのは全植物被覆割合であると考察できる。これは今回評価対象となった池がどれも浅くて小さいものだったというせいもあるが、 $V_2$  と  $V_3$  について  $SI=1.0$  となる範囲を狭める必要があるという見方もできる。

次に各実験池の質 × 量の合計値を意味する THU に注目してみる。二つの実験池の THU を比較してみると、単位評価区画ごとの HSI 値では高い水準だった第 7 実験池よりも、第 1 実験池の方が高い THU が導かれていることがわかる。このことから、池の面積の大きさも THU 増大に非常に大きな部分を担っていることが確認できる。

また二つの実験池の THU を合計するとその合計値は 55.86 である。このことから仮に桶ヶ谷沼本体が  $HSI=1.0$  としたとき、この二つの実験池で桶ヶ谷沼本体の  $55.86m^2$  分の代替ができていたということが出来る。桶ヶ谷沼本体の規模を考えると、代替の生息地としては不十分であると言える。

今度は表 A.2 と表 A.3 とあわせて見てみると、飛来個体数も産卵個体数も第 7 実験池の方が多い。これは HSI の大小関係は反映しているが、THU とは逆の結果になってしまっている。ここから各 SI モデルを見直す必要があるのかもしれないと考えられるが、具体的なデータが不足しているため、まずはデータを蓄積しなければいけない。

今回評価対象としていなかった 2 つの池の観測データについても考察してみる。まず第 2 実験池は飛来個体数が非常に多いが産卵個体数がとても少ない。実験池同士が距離の近い関係にあることも踏まえると、第 2 実験池は単に止まり木のように利用されたと考えることができる。また第 4 実験池については環境改善措置が功を奏したのか、飛来個体数も産卵個体数も非常に多い。具体的にはヨシやマコモの導入のほかに、池の底に竹を入れるなどして水中の植生の複雑化が行われている。今後はこのような措置とベッコウトンボの反応を解析していくことが望まれる。

最後に今回の検証ではサンプルデータが少なく、時系列的な変化を考慮することが出来なかったが、本来の評価ならそこまでやるべきであるということを指摘しておく。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導ご鞭撻を賜りました前田恭伸助教授に感謝の意を表し、ここに厚く御礼申し上げます。また武蔵工業大学の田中章先生、日本大学の伊東英幸様には HEP を勉強する上でアドバイスを頂くなど大変お世話になりました。厚く御礼申し上げます。また静岡県立磐田南高等学校生物部の松本幸啓先生をはじめとする部員の皆様方、桶ヶ谷沼ビジターセンターの細田昭博先生、菊川市の福井順治先生、山口県立山口博物館の三時輝久先生、大分県の倉品治男先生にはベッコウトンボについて勉強する上で本研究への理解を頂くとともに温かいご支援をいただいたことに深く感謝いたします。

なお、磐田南高校生物部へのご質問、ご意見は以下のメールアドレスまでお願いします。

seibutu@iwataminami-h.shizuoka-c.ed.jp

## 参考文献

- [1] 静岡県自然環境調査委員会 (2004) “まもりたい静岡県の野生生物 2004.”羽衣出版,pp174.
- [2] 近藤祥子・青木典司 (1997) “ベッコウトンボの卵期及び幼虫期について.”昆虫と自然 32(7),pp19-22.
- [3] 福井順治 (1997) “桶ヶ谷沼におけるベッコウトンボの生息環境条件.”昆虫と自然 32(7),pp6-10.
- [4] 細田昭博 (1993) “トンボの沼から ベッコウトンボの最後の沼を守って.”大日本図書,pp23-24.
- [5] 福井順治 (1995) “磐田市桶ヶ谷沼におけるトンボの羽化殻調査.”駿河の昆虫 No.169.
- [6] 福井順治 (1988) “静岡県磐田市桶ヶ谷沼におけるベッコウトンボの生態観察.”月刊むし No.212,pp5-11.
- [7] 倉品治男 (1997) “ベッコウトンボの環境選択性について.”昆虫と自然 32(7),pp42-45.
- [8] 青木典司 (1997) “ベッコウトンボ発生池における個体数激減の過程と考察.”昆虫と自然 32(7) .
- [9] 岡泉州 (1996) “ベッコウトンボ.”瀬戸内海 6,pp50-52.
- [10] 福永健一 (2001) “ベッコウトンボの生息環境.”山口環業報 22,pp44-47.
- [11] 細田昭博 (1997) “ベッコウトンボ・チョウトンボの生態と生息環境.”資源環境対策 33(9),pp792-797.
- [12] 青木典司 (1997) “標識調査によるベッコウトンボ成虫の動態について.”昆虫と自然 32(7) .
- [13] 日本環境動物昆虫学会編,井上清・宮武頼夫監修 (2005) “トンボの調べ方.”文教出版.
- [14] 三時輝久・平田真二 (1997) “ベッコウトンボの移動習性.”昆虫と自然 32(7),pp27-32.
- [15] 福井順治 (2001) “桶ヶ谷沼におけるベッコウトンボの増殖法の研究.”昆虫と自然 36(7).
- [16] 古谷正俊・節賀茂樹ら (1997) “蘭牟田池におけるベッコウトンボの保全と溜池整備の調和.”農業土木学会九州支部公演集 78,pp263-266.
- [17] 静岡県立磐田南高校生物部 (2003) “絶滅危惧種ベッコウトンボの最適な環境を求めて.”静岡県立磐田南高校生物部.
- [18] 静岡県立磐田南高校生物部 (2004) “実験池における環境復元およびトンボ類発生の試み.”静岡県立磐田南高校生物部.
- [19] 松木和雄 (1997) “絶滅危惧種ベッコウトンボの現状と諸問題.”昆虫と自然 32(7).
- [20] 山口県立山口博物館 (2006) “山口県のトンボ.”山口県立山口博物館.
- [21] 細田昭博 (1996) “桶ヶ谷沼のベッコウトンボ.”昆虫と自然 31(6),pp22-25.
- [22] 桶ヶ谷沼を考える会 (2006) “この沼にしか生息していないトンボがいます.”桶ヶ谷沼を考える会.